

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 606 951

(21) N° d'enregistrement national :

86 15751

(51) Int Cl<sup>4</sup> : H 02 K 21/08, 1/22, 21/24; B 60 K 7/00.

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 13 novembre 1986.

(71) Demandeur(s) : CGEE ALSTHOM, Société anonyme. — FR.

(30) Priorité :

(72) Inventeur(s) : Jean Pouillange.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPl « Brevets » n° 20 du 20 mai 1988.

(73) Titulaire(s) :

(60) Références à d'autres documents nationaux appartenus :

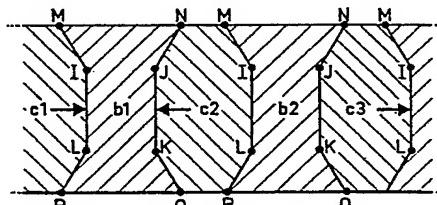
(74) Mandataire(s) : Michel Fournier, Sospi.

(54) Moteur à aimants.

(57) L'invention a pour objet un moteur à aimants comportant au moins une partie mobile placée entre deux parties fixes, ladite partie mobile comprenant une pluralité de plots en matériau magnétique en contact avec des aimants, chaque plot étant en contact avec deux aimants disposés alternativement de manière que les flux qu'ils créent convergent vers le plot ou divergent du plot précédent, un pas ayant une longueur égale à la somme des épaisseurs de deux plots et de deux aimants, chaque partie fixe comportant des plots en matériau magnétique séparés par une distance égale ou voisine d'un pas, les plots d'une partie étant disposés en quinconce par rapport à ceux de l'autre partie, les parties fixes étant associées à un bobinage n-phasé, ce moteur étant caractérisé en ce que la largeur MN, PQ des extrémités du plot rotorique b1 qui sont en vis-à-vis des plots statoriques, est plus grande que la largeur de sa partie centrale.

Application aux moteurs à fort couple sous un faible volume.

FR 2 606 951 - A1



Moteur à aimants

La présente invention est relative à un moteur à aimants, de fort couple par unité de volume en raison de sa structure particulière assurant une concentration du flux magnétique dans ses parties actives.

5 Le moteur de l'invention peut être réalisé sous forme de moteur linéaire ou sous forme cylindrique comme la plupart des moteurs classiques ou sous la forme d'un empilage de disques rotoriques et statoriques, cette forme de réalisation étant appelée dans la suite forme discale.

10 On connaît déjà des moteurs à aimants, notamment par le brevet français n° 84 05 888 déposé le 13 avrl 1984.

Ces moteurs ne sont pas entièrement satisfaisants sur le plan de la performance électromagnétique ni sur le plan de la facilité de construction et de la robustesse. Par performance électromagnétique, on entend le rapport du volume d'aimants générateur de flux au volume de matériau électromagnétique (fer), pour un volume donné du moteur.

Un but de l'invention est de réaliser un moteur dans lequel le rapport précité est supérieur au rapport correspondant des moteurs de l'art antérieur.

20 Un autre but de l'invention est de réaliser un moteur dans lequel la forme des aimants et celle du matériau ferro-magnétique qui les entoure, confèrent au moteur une robustesse alliée à une facilité de construction.

L'invention a pour objet un moteur à aimants comportant au moins 25 une partie mobile placée entre deux parties fixes, ladite partie mobile comprenant une pluralité de plots en matériau magnétique en contact avec des aimants, chaque plot étant en contact avec deux aimants disposés alternativement de manière que les flux qu'ils créent convergent vers le plot ou divergent du plot précédent, un pas ayant une longueur égale à la somme des épaisseurs de deux plots et de deux aimants, chaque partie 30 fixe comportant des plots en matériau magnétique séparés par une distance égale ou voisine d'un pas, les plots d'une partie étant disposés en quinconce par rapport à ceux de l'autre partie, les parties fixes étant associées à un bobinage n-phasé, ce moteur étant caractérisé en ce 35 que la largeur des extrémités du plot rotorique qui sont en vis à vis des plots statoriques, est plus grande que la largeur de sa partie centrale.

- 2 -

L'invention est expliquée en détail dans la description ci-après en référence au dessin dans lequel :

- Les figures 1 à 5 sont des schémas expliquant le principe du moteur.
- La figure 6 est une vue en coupe d'un plot et d'un aimant équipant le
- 5 moteur de l'invention, selon un mode de réalisation.
- La figure 7 est une vue en coupe d'un plot selon une variante de réalisation.
- La figure 8 est une vue partielle en perspective éclatée d'un moteur selon l'invention dans une réalisation discale.
- 10 - La figure 9 est une vue en demi-coupe axiale d'un moteur discal selon l'invention pour l'entraînement d'une roue de véhicule.

Pour la compréhension des figures 1 à 5, on se référera à un système de coordonnées trirectangles oxyz, ox et oz étant dans le plan de la feuille, oy étant perpendiculaire au plan de la feuille et dirigé

15 vers l'arrière de celle-ci par rapport au lecteur. Les éléments décrits ci-après sont les mêmes par tous les plans de coupe de cote y quelconque.

Les rectangles a1 représentent la coupe par le plan xoz de plots en matériau magnétique disposés régulièrement selon une première rangée et

20 espacés les uns des autres d'une distance p appelée pas.

Les rectangles a'1 représentent la coupe par le plan xoz de plots en matériau magnétique, identiques aux plots de la première rangée, et disposés selon une seconde rangée parallèle à la première rangée avec le même pas p d'espacement.

25 Les plots a'1 sont disposés en quinconce par rapport au plot a1.

Les deux rangées de plots sont séparées par une distance e dans laquelle est disposé une rangée de plots b1 et b2 séparés par des aimants permanents c. Les rectangles b1, b2 et c sont la trace de ces divers éléments par le plan xoz.

30 Les aimants c sont aimantés dans la direction ox mais le sens d'aimantation change d'un aimant à l'autre (voir le sens des flèches dans la figure 1) ainsi les plots b1 sont encadrés par des aimants dont les flux magnétiques convergent alors que les plots b2 sont encadrés par des aimants dont les flux magnétiques divergent.

35 Les plots de type b1 ont les mêmes dimensions que les plots de type b2. Les plots b1 et b2 sont en contact intime avec les aimants adjacents et l'ensemble des plots b1, b2 et des aimants c forme un bloc compact.

- 3 -

Les largeurs de b1, b2 et des aimants sont choisies pour qu'un groupe d'éléments adjacents comprenant un plot b1, un aimant c, un plot b2 et un aimant c ait une largeur égale au pas p.

Des bobinages c1 et c'1 dont la trace dans le plan xoz est visible 5 dans la figure 1, et alimentés en courant alternatif permettent de créer dans les plots a1 et dans les plots a'1 une induction dans la direction oz et marquée par une flèche f dans les figures.

L'ensemble comprenant la rangée de plots a1, la rangée de plot a'1, l'ensemble des plots b1, b2 et des aimants c et les bobinages c1 et c'1 10 peut se répéter périodiquement selon ox et oz ; dans la figure 1, on a esquissé le dessin selon ox de nouvelles séries avec bobinages c2, c'2 et plots a2, avec bobinages c3, c'3 et plots a3. Les traits tiretés au-dessus de la rangée a1 et au dessous de la rangée a'1 sont l'esquisse d'ensembles répétés selon oz.

15 Pour l'explication du fonctionnement, on se limitera à l'ensemble comprenant les plots a1 et a'1, les plots b1, b2 et les aimants c et les bobinages c1 et c'1, les derniers n'étant pas représentés dans les figures 2 à 5.

On suppose que les rangées a1 et a'1 sont fixes (stator du moteur), 20 l'ensemble b1c b2c constituant la partie mobile du moteur.

Le flux dit d'excitation créé par les aimants c dans les plots a1 ou a'1 est périodique lorsque la partie mobile se déplace.

Supposons qu'elle se déplace dans le sens de la flèche F (figures 1 à 5). L'un des aimants c a été hachuré pour permettre de suivre son 25 déplacement et on examine le flux f créé dans le plot a1 hachuré.

Dans la figure 2, le plot a1 est devant un plot b1 ; le flux f est maximal et positif. On considère cette phase comme origine.

Dans la figure 1, le déphasage est de 45° ; le flux est toujours positif, mais d'amplitude diminuée.

30 La figure 3 correspond à un déphasage de 90° ; le flux créé par les aimants est nul.

La figure 4 correspond à un déphasage de 135° ; le flux est opposé à celui de la figure 1.

La figure 5 correspond à un déphasage de 180° ; le flux est 35 d'amplitude maximale, mais de sens opposé à celui de la figure 2.

En choisissant des dimensions appropriées pour les divers plots et aimants, on peut obtenir des flux magnétiques de forme sinusoïdale créés

- 4 -

par les aimants.

On voit que si les bobinages c1 et c'1 sont alimentés en courant alternatif à une fréquence proportionnelle à la vitesse de la partie mobile, une force est exercée entre les parties fixes et mobiles.

5 En revenant à la figure 1, on voit que si l'on solidarise les parties mobiles des divers sous-ensembles, si l'on dispose les éléments fixes liés à chaque bobine de sorte que les flux d'excitation à travers chaque bobine supposés sinusoïdaux soient polyphasés (n phases) et si l'on alimente les bobinages c1 c'1, c2 c'2,...etc, en courant sinusoïdaux à n phases, le couple total exercé sur le rotor est constante.  
10

Il est aisément pour l'homme du métier de réaliser à partir des schémas qui viennent d'être expliqués, un moteur linéaire.

Avant de montrer comment les configurations précitées s'appliquent à un moteur cylindrique ou à un moteur discal, il va être décrit comment 15 le schéma de la figure 1 est réalisé en pratique pour permettre une meilleure concentration du flux et par suite, un couple massique plus élevé.

La figure 6 représente la coupe par un plan xoz de deux plots b1 et b2 de l'élément mobile, avec les aimants c1, c2, c3 adjacents à chacun 20 de ces plots ; chaque plot b (b1 ou b2) a la forme d'un rectangle IJKL auquel sont accolés par leur petite base deux trapèzes isocèles égaux IJNM et LKQP.

A titre d'exemple la largeur IJ d'un plot b étant égale à quatre unités, la largeur MN est égale à 7 unités et la longueur IL est égale à 25 5 unités et la longueur MP à 10 unités.

Plus généralement, la largeur de l'extrémité du plot (MN ou PQ) est supérieure à la largeur (IJ ou LK) de la partie centrale du plot.

Les aimants ont une forme complémentaire pour venir en contact avec les plots qui lui sont adjacents et ont donc en section par le plan 30 xoz la forme d'un rectangle auquel sont accolés, par leur grande base, deux trapèzes isocèles égaux.

On rappelle que les aimantations sont de sens opposés d'un aimant à l'autre, comme indiqué par les flèches.

Le choix des largeurs IJ et MN par rapport à la longueur MP est 35 dicté par la considération d'avoir dans le plot b le maximum de flux sans arriver à la saturation magnétique.

On peut sans sortir de l'esprit de l'invention donner au plot b une

- 5 -

section légèrement modifiée par rapport au schéma de la figure 6, par exemple comme indiqué dans la figure 7 en épousant les trapèzes selon M'M'' et N'N''.

On a indiqué que les plots des parties fixes (a1, a'1) étaient, 5 dans chaque partie fixe, séparée par une distance égale à un pas p. Ceci correspond à la réalisation de moteurs classiques.

Si on sépare les plots de chaque partie fixe par une distance p' 10 légèrement différente de p, ou si on constitue des groupes de plots consécutifs, dont les plots sont séparés par une distance p, chaque groupe étant séparé du groupe voisin par une distance différente de p, on peut alors constituer une machine de type vernier, dans les configurations linéaires, cylindriques ou discales.

Bien entendu, on peut inverser le rôle des parties fixe et mobile, (pas donné p dans les parties fixes, pas différents p' ou groupe de pas 15 p dans la partie mobile) pour obtenir un moteur vernier dans les trois configurations précitées.

La figure 8 illustre un mode de réalisation de l'invention dans une configuration discale.

Le rotor comprend une pluralité de disques 50, d'axe OZ commun. 20 Deux tels disques ont été représentés dans la figure. Ils comportent une pluralité de barreaux en matériau magnétique feuilleté 51, disposés radialement. Ces barreaux ont, en section, la forme des plots comme indiqué en référence à la figure 6.

Les barreaux 51 sont en contact avec des aimants 52 ayant également 25 la forme de barreaux aimantés dans le sens transversal comme indiqué dans la figure 6 avec sens opposé d'un aimant à l'autre.

Aimants et barreaux sont maintenus par une frette extérieure 53 et une frette intérieure 54. Ces frettes sont réalisées en matériau composite ou en métal amagnétique.

30 La frette 54 porte une collerette 55 dont le rôle est de permettre l'appui de roulement à billes comme il sera expliqué plus loin.

Le stator comprend une pluralité de disques 60 encadrant les disques rotoriques.

Ces disques comprennent des barreaux en matériau magnétique 35 feuilleté 61, de section rectangulaire, disposés radialement.

Les barreaux, sont insérés dans un stratifié 62 par exemple de verre époxy et groupés en plusieurs paquets (60A, 60B, 60C, etc...).

- 6 -

Chaque paquet est entouré d'un bobinage 63 dont on a représenté plusieurs fils 64. Le stratifié comporte des perçages transversaux 65 pour le passage de tirants d'assemblage du stator.

Le moteur comprend en outre deux culasses d'extrémité 70 et 80, en 5 matériau magnétique et sous forme de feuillard enroulé de manière à constituer un disque. Ces culasses permettent de refermer les flux issus des pseudo-solenoïdes constitués par les piles de bobine.

La figure 9 représente, en demi-coupe axiale, un moteur selon l'invention, de type discal, réalisé avec les éléments décrits dans la 10 figure 8.

Le moteur est utilisé pour l'entraînement d'une roue de véhicule dont on reconnaît la jante 90 et le pneumatique 91.

On distingue dans la figure les disques statoriques 60 avec leurs bobinages 63, et les culasses d'extrémité 70 et 80 ; ces pièces sont 15 fixées par des tirants 92 à deux flasques terminaux 93 et 94. Le flasque 94 est solidaire d'un arbre 95 fixe et coaxial à l'axe tt de la roue.

Les disques rotoriques 50 sont intercalés entre les disques statoriques 60 et leur frette extérieure 53 est solidarisée à la jante. Des roulements à billes 96 et 97, disposés de part et d'autre de la 20 collerette 55 viennent en appui contre les disques statoriques adjacents pour assurer un parfait centrage du disque rotorique dans l'espace qui lui est alloué.

Des anneaux de calage tels que 98 permettent un parfait serrage du stator.

25 La jante 90 est solidaire d'une couronne 99 fixée sur un cylindre 100 coaxial à l'arbre 95 ; le cylindre peut tourner autour de l'arbre grâce à des paliers à rouleaux tels que 101 et 102.

Un moteur a été construit.

Le rotor comporte onze disques rotoriques comportant chacun 128 30 aimants en samarium-cobalt. Le diamètre du rotor est de 50 cm environ.

Le stator comprend dix disques, et deux disques d'épaisseur moitié (demi-disque) accolés aux culasses. Le disque comprend six secteurs avec huit pas par secteur.

L'alimentation est triphasée dans chaque disque statorique. La 35 fréquence d'alimentation doit varier de 0 à 410 Hz environ.

Les dimensions du moteur sont

- longueur selon l'axe tt : 380 mm,

- 7 -

- diamètre selon un plan perpendiculaire à tt : 500 m,
- volume : 77 litres - masse 300 kg environ.

Le stator du moteur est refroidi par circulation d'huile dans les bobines. Dans le cas d'un moteur très lent, le moteur est simplement 5 rempli d'huile et les échanges se font soit grâce à une circulation de cette huile, soit par les parois du moteur.

Malgré son faible diamètre, le moteur de l'invention est particulièrement performant puisque son couple massique est de 37 mètre.Newton/kg et son couple volumique de 143 mètre.Newton/litre.

10 Sa construction est aisée ; son volume particulièrement réduit lui permet de viser toutes les applications qui exigent de grandes performances alliées à une grande compacité.

La forme particulière donnée aux aimants et au matériau ferromagnétique entourant les aimants permet au moteur, non seulement d'avoir 15 une grande performance électro-magnétique au sens donné ci-dessus, mais confère également aux disques rotoriques une rigidité naturelle de telle sorte que, dès que le disque a reçu sa frette, il devient insensible aux déformations transversales.

Bien qu'on n'ait représenté qu'un moteur de type discal, il est 20 évident pour l'homme du métier de réaliser un moteur cylindrique ou un moteur linéaire ayant les caractéristiques de l'invention.

## REVENDICATIONS

- 1/ Moteur à aimants comportant au moins une partie mobile placée entre deux parties fixes, ladite partie mobile comprenant une pluralité de plots en matériau magnétique en contact avec des aimants, chaque plot 5 étant en contact avec deux aimants disposés alternativement de manière que les flux qu'ils créent convergent vers le plot ou divergent du plot précédent, un pas ayant une longueur égale à la somme des épaisseurs de deux plots et de deux aimants, chaque partie fixe comportant des plots en matériau magnétique séparés par une distance égale ou voisine d'un 10 pas, les plots d'une partie étant disposés en quinconce par rapport à ceux de l'autre partie, les parties fixes étant associées à un bobinage n-phasé, ce moteur étant caractérisé en ce que la largeur (MN, PQ) des extrémités du plot rotorique (b1) qui sont en vis à vis des plots statoriques, est plus grande que la largeur de sa partie centrale.
- 15 2/ Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les plots (b1, b2) du rotor ont en section la forme d'un rectangle (IJKL) prolongé sur chacun de deux côtés opposés (IJ, LK), par un trapèze (IJNM, KLPQ) dont la petite base est commune audit côté, les aimants (c1, c2, c3) ayant une forme complémentaire assurant un contact avec deux plots voisins.
- 20 3/ Moteur selon la revendication 2 caractérisé en ce que les trapèzes (IJNM, KLPQ) sont épointés.
- 4/ Moteur selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que le moteur est réalisé sous forme discale et comprend
- une pluralité de disques rotoriques (50) dans lesquels sont disposés 25 alternativement, de manière radiale, des barreaux (51) magnétiques et des aimants (52),
  - une pluralité de disques statoriques (60) comprenant au moins un groupe de barreaux magnétiques (61), et au moins un bobinage (63) alimenté en courant n-phasé,
- 30 5/ les disques rotoriques et statoriques étant disposés alternativement.
- 5/ Moteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que la section transversale des barreaux (51) magnétiques rotoriques ont une section en forme de rectangle prolongé sur chacun de deux côtés opposés par un trapèze dont la petite base est commune audit côté.

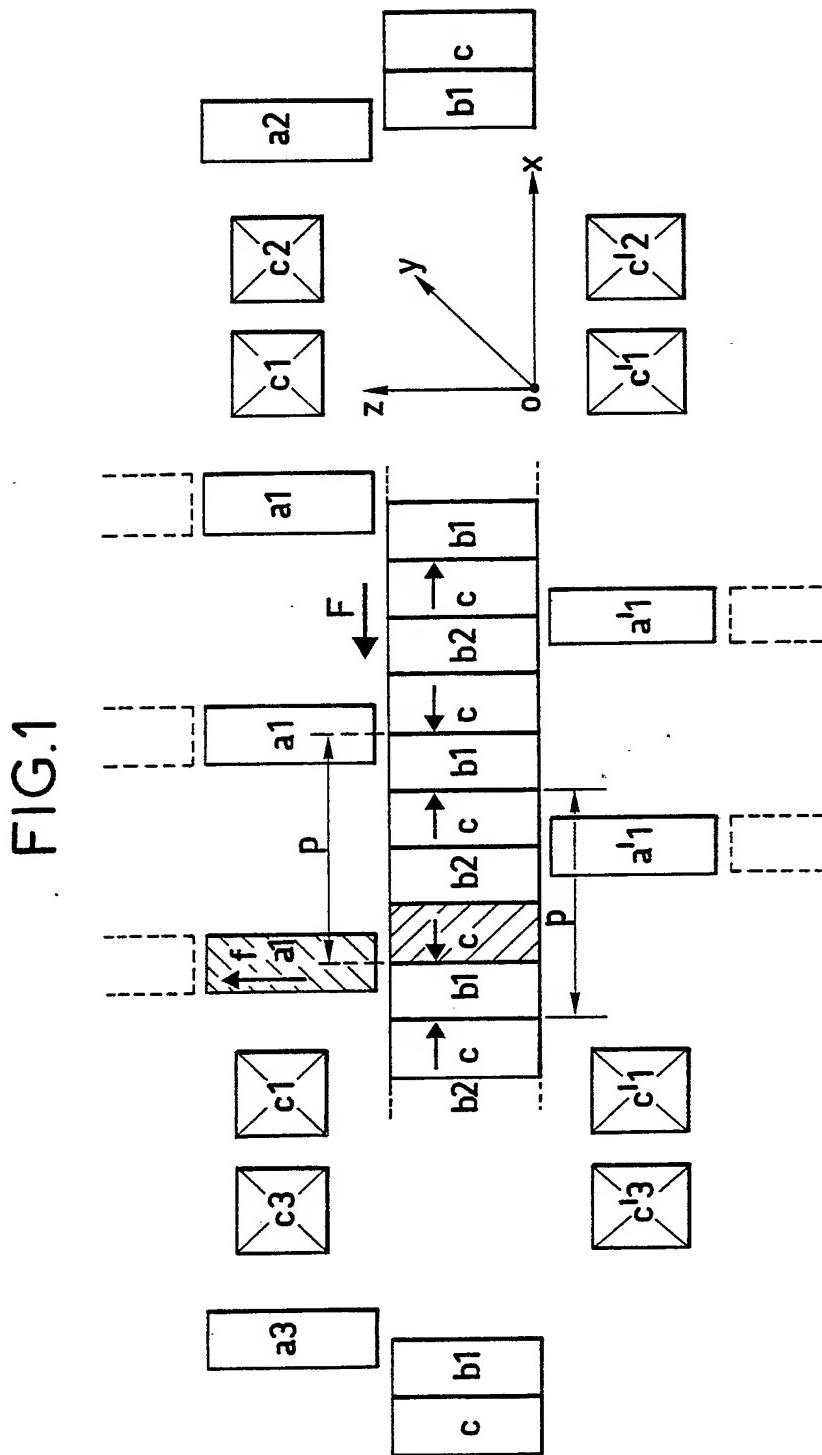
**2606951**

- 9 -

6/ Moteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les plots sont disposés de manière à constituer un moteur linéaire.

7/ Moteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les plots sont disposés de manière à constituer un moteur cylindrique.

1/5



2/5

FIG.2

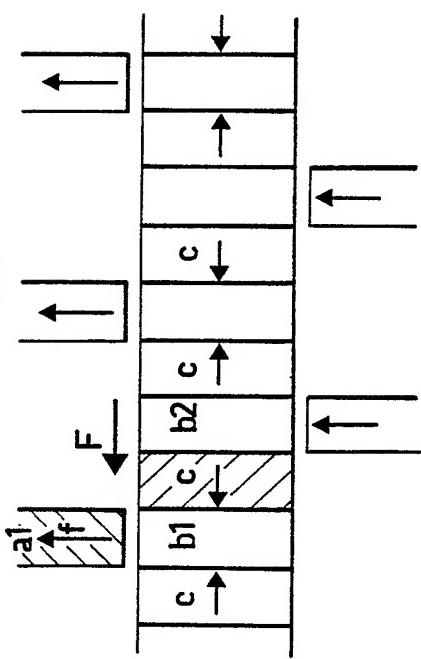


FIG.3

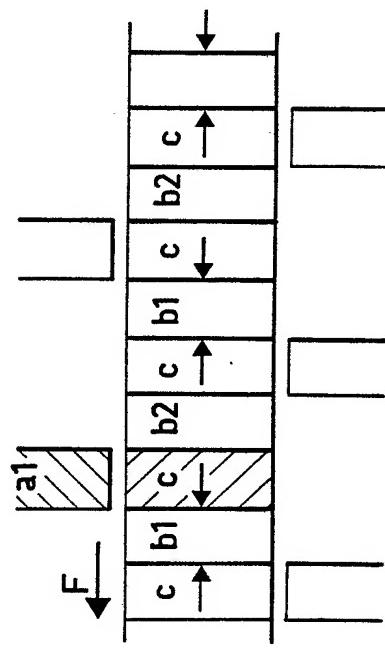


FIG.4

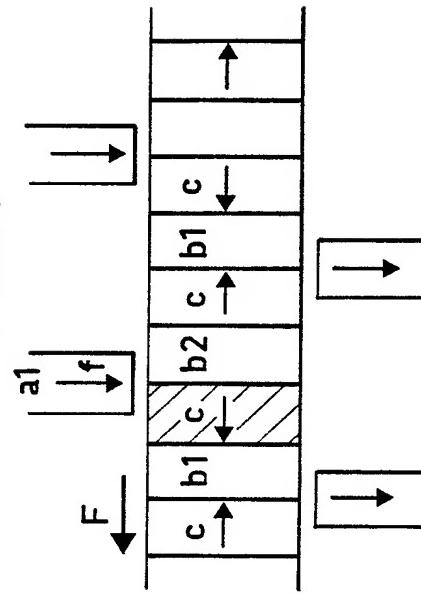
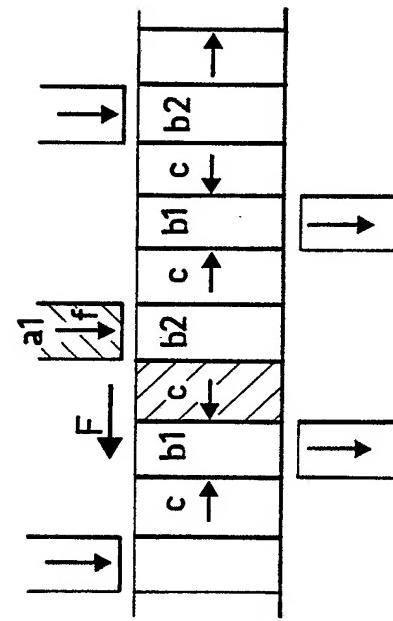


FIG.5



2606951

3/5

FIG.6

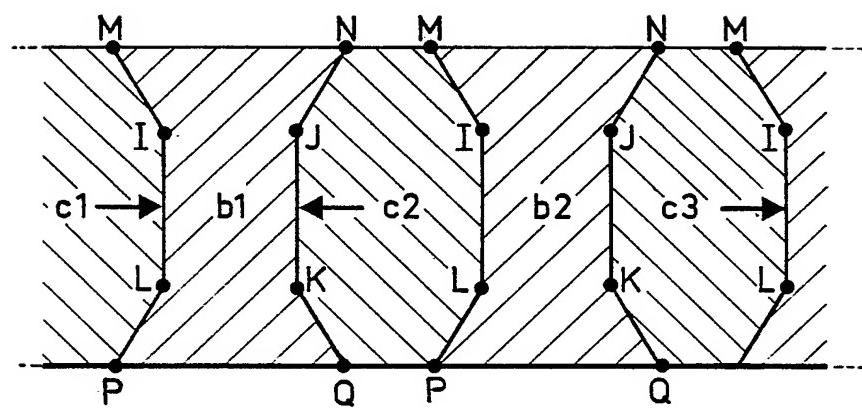
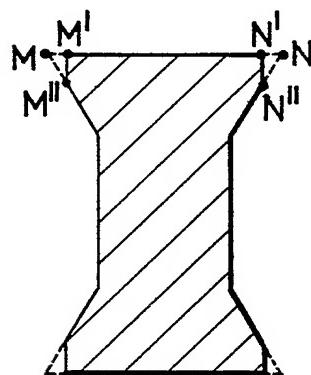


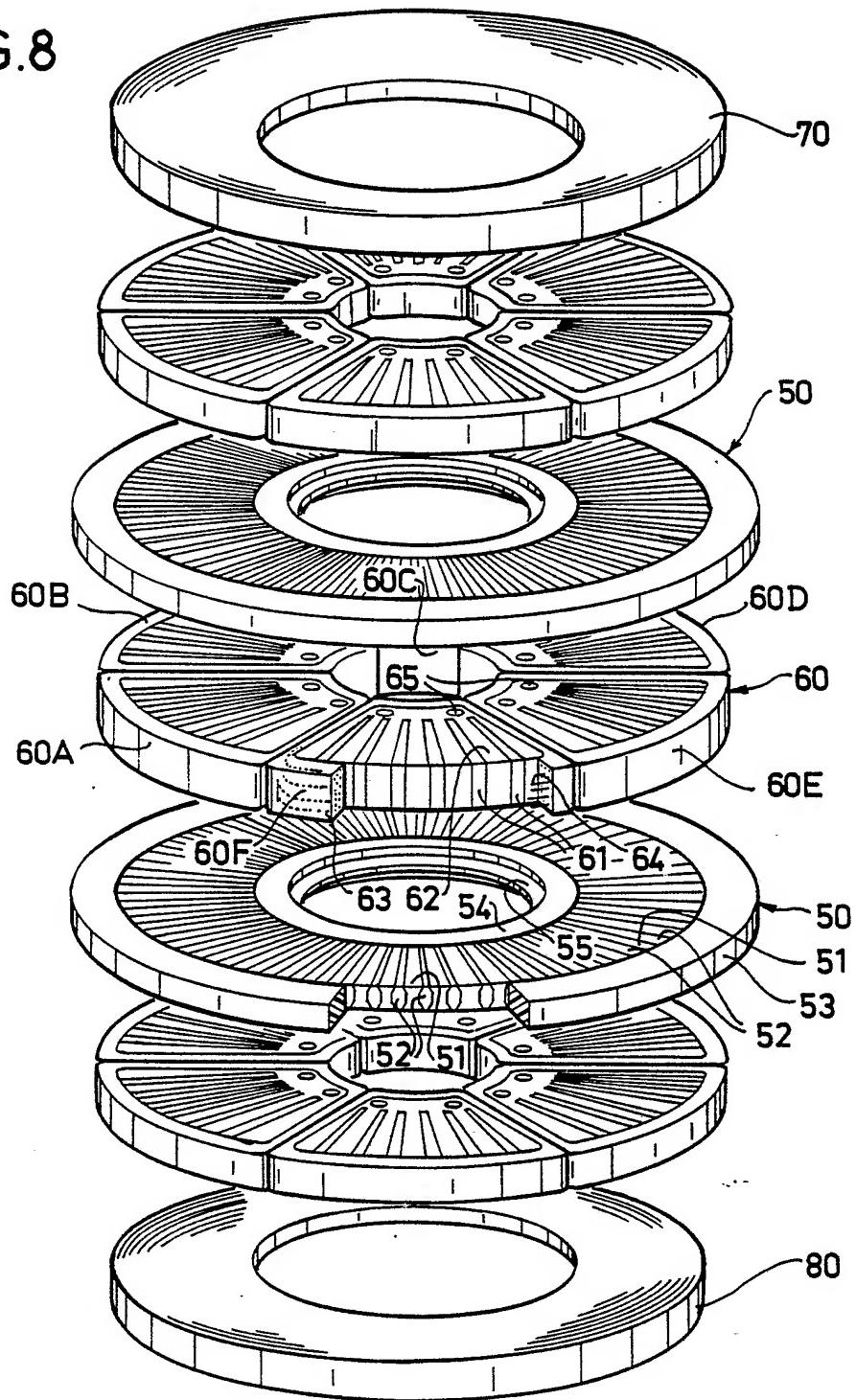
FIG.7



2606951

4 / 5

FIG.8



5 / 5

FIG.9

